

[First Hit](#)[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)

Generate Collection

Print

L3: Entry 35 of 140

File: JPAB

Sep 5, 1995

PUB-NO: JP407233450A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07233450 A

TITLE: HIGH TOUGHNESS AND HIGH CREEP STRENGTH TYPE HIGH CR HEAT RESISTANT STEEL

PUBN-DATE: September 5, 1995

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

HAMADA, KAZUSHI

TOKUNO, KAZUNARI

TOMITA, YUKIO

MABUCHI, HIDESATO

INT-CL (IPC): C22C 38/00; C22C 38/24

## ABSTRACT:

PURPOSE: To produce a high Cr heat resistant steel excellent in toughness or the like by dispersedly strengthening tantalum oxide and niobium oxide and optimizing the balance of Si, Mo, W, Ni, Cu and Co.

CONSTITUTION: A heat resistant steel having a compsn. contg., by weight, 0.04 to 0.30% C, 0.005 to 0.50% Si, 0.01 to 1.0% Mn,  $\leq 0.05\%$  P,  $\leq 0.03\%$  S, 5.0 to 13.5% Cr, 0.05 to 0.5% V and 0.005 to 0.080% N, contg. one or more kinds of 0.3 to 3.0% Mo and 0.6 to 6.0% W so as to satisfy  $Mo+W/2$ ; 0.3 to 3.0 and total 0.01 to 4.0% of one or more kinds among Ni, Cu and Co, total 0.10 to 2.5% of one or more kinds of tantalum oxide grains and niobium oxide grains having  $\leq 1\mu m$  average grain diameter as to satisfy  $(\text{tantalum oxide} + \text{niobium oxide})/\text{Si} \geq 1.5$ , contg. total 0.05 to 3.0% of one or more kinds of total Ta and total Nb, and the balance Fe with inevitable impurities is prepd. Thus, the ferritic heat resistant steel excellent in creep strength and toughness in an environment of about  $\geq 625^\circ C$  can be obtd.

COPYRIGHT: (C)1995, JPO

[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-233450

(43)公開日 平成7年(1995)9月5日

|                          |         |        |     |        |
|--------------------------|---------|--------|-----|--------|
| (51)Int.Cl. <sup>9</sup> | 識別記号    | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| C 2 2 C 38/00            | 3 0 2 Z |        |     |        |
| 38/24                    |         |        |     |        |

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 11 頁)

|             |                 |         |   |
|-------------|-----------------|---------|---|
| (21)出願番号    | 特願平6-275429     | (71)出願人 | 000006655<br>新日本製鐵株式会社<br>東京都千代田区大手町2丁目6番3号 |
| (22)出願日     | 平成6年(1994)11月9日 | (72)発明者 | 浜田 一志<br>千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式<br>会社技術開発本部内  |
| (31)優先権主張番号 | 特願平5-335333     | (72)発明者 | 徳納 一成<br>愛知県東海市東海町5-3 新日本製鐵株<br>式会社名古屋製鐵所内  |
| (32)優先日     | 平5(1993)12月28日  | (72)発明者 | 富田 幸男<br>千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式<br>会社技術開発本部内  |
| (33)優先権主張国  | 日本(J P)         | (74)代理人 | 弁理士 大関 和夫                                   |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 625℃以上の環境中でクリープ強度・靱性に優れたフェライト系耐熱鋼を提供する。

【構成】 重量%でC:0.04~0.30、Si:0.005~0.50、Mn:0.01~1.0、P:0.05以下、S:0.03以下、Cr:5.0~13.5、V:0.05~0.5、N:0.005~0.080、Mo、Wの1種または2種をMo:0.3~3.0、W:0.6~6.0、Mo+W/2:0.3~6.0、Ni、Cu、Coの1種以上を合計で0.01~4.0含有し、平均粒径1μm以下の酸化タンタル粒子および酸化ニオブ粒子の1種または2種の合計が0.10~2.5で、かつ(酸化タンタル+酸化ニオブ)/Si≥1.5を満足し、全Taおよび全Nbの1種または2種を合計で0.05~3.0含有し、残部Feおよび不可避免的不純物からなることを特徴とする高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 重量比で

C : 0.04~0.30%、  
 Si : 0.005~0.50%、  
 Mn : 0.01~1.0%、  
 P : 0.05%以下、  
 S : 0.03%以下、  
 Cr : 5.0~13.5%、  
 V : 0.05~0.5%、  
 N : 0.005~0.080%、  
 Mo、Wのうち1種または2種を  
 Mo : 0.3~3.0%、  
 W : 0.6~6.0%、  
 かつ  $Mo+W/2 : 0.3~3.0\%$ 、  
 さらにNi、Cu、Coのうち1種または2種以上の合  
 計を  
 0.01~4.0%  
 含有し、平均粒径1 $\mu$ m以下の酸化タンタル粒子、平均  
 粒径1 $\mu$ m以下の酸化ニオブ粒子の1種または2種の合  
 計を  
 0.10~2.5%、  
 かつ(酸化タンタル+酸化ニオブ)/Si $\geq$ 1.5  
 を満足し、酸化タンタルとして存在するTaを含めた全  
 Ta、酸化ニオブとして存在するNbを含めた全Nbの  
 1種または2種の合計を  
 0.05~3.0%  
 含有し、残部Feおよび不可避免の不純物からなることを  
 特徴とする高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。  
 【請求項2】 重量比で  
 C : 0.04~0.30%、  
 Si : 0.005~0.50%、  
 Mn : 0.01~1.0%、  
 P : 0.015%以下、  
 S : 0.007%以下、  
 Cr : 5.0~13.5%、  
 V : 0.05~0.5%、  
 N : 0.005~0.080%、  
 Mo、Wのうち1種または2種を  
 Mo : 0.3~3.0%、  
 W : 0.6~6.0%、  
 かつ  $Mo+W/2 : 0.3~3.0\%$ 、  
 さらにNi、Cu、Coのうち1種または2種以上の合  
 計を  
 0.01~4.0%  
 含有し、平均粒径1 $\mu$ m以下の酸化タンタル粒子、平均  
 粒径1 $\mu$ m以下の酸化ニオブ粒子の1種または2種の合  
 計を  
 0.25~2.5%  
 かつ(酸化タンタル+酸化ニオブ)/Si $\geq$ 1.5  
 を満足し、酸化タンタルとして存在するTaを含めた全

2

Ta、酸化ニオブとして存在するNbを含めた全Nbの  
 1種または2種の合計を  
 0.20~3.0%

含有し、残部Feおよび不可避免の不純物からなることを  
 特徴とする高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

## 【請求項3】 重量比で

B : 0.0005~0.01%

を含有することを特徴とする請求項1または2記載の高  
 靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

## 10 【請求項4】 重量比で

Ti : 0.005~0.25%、

Al : 0.001~0.05%、

Mg : 0.001~0.05%、

Y : 0.001~0.05%、

Zr : 0.001~0.05%、

Hf : 0.001~0.05%、

La : 0.001~0.05%、

Ce : 0.001~0.05%、

Ca : 0.001~0.05%

20 のうち1種または2種以上を含有する請求項1~3のい  
 ずれか1項に記載の高靱性・高クリープ強度型高Cr系  
 耐熱鋼。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高クリープ破断強度・  
 高靱性を有する高Cr系耐熱鋼に関するものであり、特  
 に625℃以上の高温で長時間使用してもなお高クリー  
 プ破断強度・高靱性を確保しているフェライト系耐熱鋼  
 に係わるものである。

## 30 【0002】

【従来の技術】超々臨界圧ボイラー等の圧力容器は高温  
 高圧化が志向され、625℃以上の高温クリープ強度が  
 高く、また安全性の点から、長時間使用しても高い靱性  
 をなお確保しているフェライト系耐熱鋼が強く要望され  
 ている。この種の用途に供される鋼の例としては、米国  
 ASTM規格のA387Gr. 91鋼(9Cr-1Mo  
 -Nb-V)、さらにA387Gr. 91鋼にWを添加  
 して強度を向上させた高Cr系鋼(文献、伊勢田ら：C  
 AMP-ISI J VOL. 2(1989)-772)  
 などがある。

40

【0003】高温クリープ強度をさらに向上させるため  
 に酸化物を分散させた鋼も開発されている。特開平5-  
 51701号公報に記載されているY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等を分散さ  
 せた高Cr鋼、または特願平4-223803号に記載  
 されているTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を分散させた高Cr鋼などがその  
 例である。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、AST  
 M A387Gr. 91鋼は、靱性には優れるもののク  
 リープ強度が低い。また、従来の固溶強化鋼は、クリー

50

フ変形中に靱性に悪影響を与える金属間化合物が多量に析出し、靱性を著しく低下させるという欠点を有する。

【0005】また、特開平5-51701号公報に記載のY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>分散強化鋼はY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の鋼中歩留りが低い上に、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を溶鋼中に添加する前に予備処理を行っているためコスト高となっている。また、特願平4-223803号に記載のTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>分散強化鋼も、溶鋼中で酸化物が凝集粗大化する傾向が強く、クリープ強度および靱性が劣化する場合がある。特に、10%以上Crを含有する場合は、酸化物の歩留りも著しく低下するため

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、このような事情に鑑み創案されたものである。本発明では、高温長時間クリープ中に安定に存在する酸化タンタルおよび／または酸化ニオブの分散強化によってクリープ破断強度を向上させた。さらに、酸化タンタルおよび／または酸化ニオブの凝集粗大化を抑制し、かつ歩留りを向上させるためにSiとのバランスを最適化させた。また、Mo、W添加量バランスの適切化によって金属間化合物の析出を抑制すること、さらにNi、Cu、Coのバランスを適正化してδフェライトの生成を抑制することによってクリープ破断強度と同時に高い靱性を持たせることに成功したものである。

【0007】特に板厚の厚い場合には、BおよびTi、Al、Mg、Y、Zr、Hf、La、Ce、Caを選択的に添加することで、より高い靱性を持たせることができる。すなわち、本発明の要旨とするところは下記のとおりである。

(1)重量比で

C : 0.04~0.30%、Si : 0.005~0.50%、Mn : 0.01~1.0%、P : 0.05%以下、S : 0.03%以下、Cr : 5.0~13.5%、V : 0.05~0.5%、N : 0.005~0.080%、Mo、Wのうち1種または2種をMo : 0.3~3.0%、W : 0.6~6.0%、かつMo + W / 2 : 0.3~3.0%、さらにNi、Cu、Coのうち1種または2種以上の合計を

0.01~4.0%含有し、平均粒径1μm以下の酸化タンタル粒子、平均粒径1μm以下の酸化ニオブ粒子の1種または2種の合計を

0.10~2.5%、

かつ(酸化タンタル+酸化ニオブ) / Si ≥ 1.5

を満足し、酸化タンタルとして存在するTaを含めた全Ta、酸化ニオブとして存在するNbを含めた全Nbの

1種または2種の合計を

0.05~3.0%

含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

【0008】(2)重量比で

C : 0.04~0.30%、Si : 0.005~0.50%、Mn : 0.01~1.0%、P : 0.015%以下、S : 0.007%以下、Cr : 5.0~13.5%、V : 0.05~0.5%、N : 0.005~0.080%、Mo、Wのうち1種または2種をMo : 0.3~3.0%、W : 0.6~6.0%、かつMo + W / 2 : 0.3~3.0%、さらにNi、Cu、Coのうち1種または2種以上の合計を

0.01~4.0%

含有し、平均粒径1μm以下の酸化タンタル粒子、平均粒径1μm以下の酸化ニオブ粒子の1種または2種の合計を

0.25~2.5%

かつ(酸化タンタル+酸化ニオブ) / Si ≥ 1.5

を満足し、酸化タンタルとして存在するTaを含めた全Ta、酸化ニオブとして存在するNbを含めた全Nbの1種または2種の合計を

0.20~3.0%

含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

【0009】(3)重量比で

B : 0.0005~0.01%

を含有することを特徴とする前項(1)または(2)記載の高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

(4)重量比で

Ti : 0.005~0.25%、Al : 0.001~0.05%、Mg : 0.001~0.05%、Y : 0.001~0.05%、Zr : 0.001~0.05%、Hf : 0.001~0.05%、La : 0.001~0.05%、Ce : 0.001~0.05%、Ca : 0.001~0.05%のうち1種または2種以上を含有する前項(1)~(3)のいずれか1項に記載の高靱性・高クリープ強度型高Cr系耐熱鋼。

【0010】

【作用】以下に本発明の限定理由を説明する。Cは、Mo、W、V、N等と炭窒化物を形成してクリープ破断強度を向上させる。そのためには0.04%以上の添加が必要である。一方、0.30%を超えて添加すると、粗大炭化物の生成を招き靱性を低下させる上、焼入れ硬化性の上昇に起因した溶接性の低下を招く。よって、C量は0.04~0.30%に限定した。

【0011】Siは脱酸材として重要であり、最低0.005%を必要とする。しかし、靱性に対しては悪影響を与えるものであり、0.50%を超えて添加した場合の靱性低下が著しい。また、{(酸化タンタル+酸化ニ

オブ) / 1.5) %を超えて添加した場合は、酸化タンタルおよび/または酸化ニオブを還元するため、酸化物が凝集粗大化してクリープ破断強度および靱性を低下させる。よって、Si量は0.005~0.50%で、かつ{(酸化タンタル+酸化ニオブ) / 1.5) %以下に限定した。なお、Cr量が10%以上の場合のSi量は、望ましくは0.005~0.25%で、かつ{(酸化タンタル+酸化ニオブ) / 2.0) %以下である。

【0012】Mnは鍛造性確保のために重量であり、0.01%以上の添加が必要であるが、1.0%を超え  
10 とクリープ破断強度を低下させる。このため、Mn量は0.01~1.0%に限定した。Pは0.05%を超えて添加すると粒界脆化を起こす。特に長時間高温保持後に靱性が劣化する。よって、P量は0.05%以下、好ましくは0.015%以下に限定した。

【0013】Sは0.03%を超えて添加すると粒界脆化を起こす。特に長時間高温保持後に靱性が劣化する。よって、S量は0.03%以下、好ましくは0.007%以下に限定した。Crは耐食性を確保する上で重要である。特に使用環境温度が625℃以上の場合を考慮  
20 すれば、最低5.0%は必要である。一方、13.5%超の添加はδフェライトを生成する場合があります、靱性が低下する。よって、Cr量は5.0~13.5%に限定した。なお、使用環境温度が650℃以上の場合10%以上にすることが望ましい。

【0014】Vは炭窒化物として析出して強度を確保する上で重要であるため最低0.05%は必要であるが、0.5%を超える添加はδフェライトを生成して靱性を損なう。よって、V量は0.05~0.5%に限定した。Nは基地中に固溶しても、また炭窒化物として析出  
30 しても著しいクリープ抵抗として寄与するため最低0.005%を必要とする。しかし、0.080%を超えて添加した場合、溶接性と靱性を同時に損なうようになる。従って、N量は0.005~0.080%に限定した。なお、Cr量が8.0%以上の場合、より望ましいN量は0.025~0.070%である。

【0015】MoおよびWは基地中に固溶した場合においても、また炭窒化物や金属間化合物として微細に析出した場合においてもクリープ破断強度を向上させる。一方、過剰に添加すると、δフェライトの生成および金属  
40 間化合物の粗大化を招くため、靱性の著しい低下が起こる。MoおよびWは、それぞれ単独でも複合でも効果がある。このためMo:0.3~3.0%、W:0.6~6.0%で、かつMo+W/2:0.3~3.0%に限定した。

【0016】Ni、Cu、Coは重要なオーステナイト生成元素であり、焼入れ性を向上させ、かつ靱性に有害なフェライトの生成を抑制するため靱性を向上させる。単独もしくは2種以上の合計で0.01%以上が必要であるが、4.0%を超えるとクリープ破断強度を著しく

低下させるため、1種または2種以上の合計で0.01~4.0%に限定した。それぞれ単独添加の場合でも効果がある。なお、Cr量が10%以上の場合、より望ましくは1.0~4.0%、またはCuを1%以上添加する場合はNiをCu/4以上同時に添加することが望ましい。

【0017】酸化タンタル(主にTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)および酸化ニオブ(主にNb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)は分散強化源として働き、高温クリープ破断強度を著しく向上させる。その効果は、両者の合計または単独の添加量が0.10%以上で著しいが、2.5%を超える添加は靱性を劣化させる。また、酸化タンタルおよび酸化ニオブは比較的高価であり大量の添加は好ましくない。そのため、1種もしくは2種の合計で0.10~2.5%、好ましくは0.25~2.5%に限定した。なお、Cr量10%以上の場合、より望ましくは0.30~2.0%である。

【0018】酸化タンタルおよび酸化ニオブ添加量はSi添加量とのバランスが重要である。{(酸化タンタル+酸化ニオブ) / Si} < 1.5の場合は酸化タンタルおよび/または酸化ニオブがSiにより還元されてクリープ破断強度および靱性を低下させる。よって(酸化タンタル+酸化ニオブ) ≥ 1.5 Siに限定した。なお、Cr量10%以上の場合、より望ましくは(酸化タンタル+酸化ニオブ) ≥ 2.0 Siである。

【0019】酸化タンタルおよび酸化ニオブの平均粒径を1μm以下としたのは、平均粒径が1μmを超えると、添加量が適正範囲内であっても、酸化タンタルおよび酸化ニオブの単位面積あたりの数が少なくなり、高温クリープ破断強度の向上につながらないばかりか、酸化タンタルおよび酸化ニオブが脆性破壊の起点になりやすく、靱性が著しく低下するためである。1μm以下であれば小さい程、高温クリープ破断強度が向上する。

【0020】なお、酸化タンタルおよび酸化ニオブの平均粒径は以下のように測定する。任意の3断面で酸化タンタルおよび酸化ニオブを合計300個以上計測する。円形に見える場合はその直径を粒径とする。楕円、多角形もしくは不定形の場合はその粒子を平行線で挟んだ最短距離と最長距離の幾何平均(楕円の場合は同一面積を持つ円の直径と一致する)を粒径とする。これら粒径の算術平均を平均粒径と定義する。

【0021】酸化タンタルはTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の他、Ta<sub>6</sub>O<sub>7</sub>、TaO、Ta<sub>2</sub>O、TaO<sub>2</sub>、Ta<sub>0.83</sub>O<sub>2</sub>、Ta<sub>0.97</sub>O<sub>2</sub>、Ta<sub>0.8</sub>O<sub>2</sub>、Fe<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>、FeTaO<sub>4</sub>、FeTaO<sub>6</sub>、Ta<sub>2</sub>CrO<sub>6</sub>、CrTaO<sub>4</sub>等の形で存在する。ただし、Si、Mn、S、Mo、W、Vを小量含有する場合が多い。また、酸化ニオブはNb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の他、Nb<sub>6</sub>O<sub>7</sub>、NbO、Nb<sub>2</sub>O、NbO<sub>2</sub>、Nb<sub>12</sub>O<sub>29</sub>、NbO<sub>2.46</sub>、Fe<sub>4</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>9</sub>、FeNbO<sub>4</sub>、FeNb<sub>49</sub>O<sub>124</sub>、FeNb<sub>11</sub>O<sub>29</sub>、Nb  
50 0.6Cr<sub>0.4</sub>O<sub>2</sub>、CrNbO<sub>4</sub>等の形で存在する。た

だし、Si、Mn、S、Mo、W、Vを少量含有する場合が多い。

【0022】また、酸化ニオブと酸化タンタルを複合して添加する場合、Nb<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>15</sub>等NbとTaが複合して酸素と結びついた形でも存在する。Taは酸化タンタルとして、Nbは酸化ニオブとして存在するものが大部分であるが、一部は固溶Ta、NbもしくはTa(C、N)、Nb(C、N)としても存在する。これらのTaおよびNb源は、溶鋼中に酸化タンタルもしくは酸化ニオブを添加する前に添加するTa、Nbによるもの、もしくは酸化タンタル、酸化ニオブの一部が分解したものである。酸化タンタル+酸化ニオブが0.10%以上であるとき、全Ta+全Nbは0.05%以上となる。さらに全Ta+全Nb量として3.0%を超えると靱性の低下を招くため、全Ta、全Nbは1種もしくは2種の合計で0.05~3.0%、好ましくは0.20~3.0%に限定した。

【0023】Bは焼入れ性を向上させ靱性を上げる。特に板厚の厚い場合に有効である。そのためには0.005%以上の添加が必要であるが、0.01%を超える添加は粗大なBNの析出によって靱性を低下させるため、0.0005~0.01%に限定した。Ti、Al、Mg、Y、Zr、Hf、La、Ce、Caは選択的に添加するが、これらは鋼の清浄度を上げ、偏析を緩和させるため靱性を向上させる。この場合クリープ破断強度は変化しない。特に板厚の厚い場合にその効果が顕著である。しかし、過剰の添加は酸化タンタルおよび酸化ニオブを還元するためクリープ破断強度を低下させる。よって、Tiは0.005~0.25%、Al、Mg、Y、Zr、Hf、La、Ce、Caはいずれも0.001~0.05%に限定した。これらのうち1種もしくは2種以上の添加で効果がある。また他の希土類元素(ランタノイド系)も同様の働きをする。なお、これら元素の添加は酸化物の添加前に行うことが望ましい。

【0024】本発明鋼の好ましい熱処理条件は、930

℃以上の焼ならしおよび700℃以上830℃以下の焼もどし、または圧延後焼ならしを省略し750℃以上830℃以下の焼もどしを行うことである。焼もどしによってV炭窒化物が析出し、高温クリープ破断強度がさらに向上する。

【0025】

【実施例】実施例を表1、表2(表1のつづき-1)、表3(表1のつづき-2)、表4、表5(表4のつづき-1)、表6(表4のつづき-2)に示す。実施例に用いた鋼は、

①酸化タンタルもしくは酸化ニオブを添加する方法(実施例1~32)、

②Ta脱酸もしくはNb脱酸によって酸化物を生成させる方法(実施例33~80)

の2種の方法で製造した。

【0026】①の方法では、50kg真空溶解において成分を調整した後、タンディッシュに溶鋼(1600~1650℃)を注ぎ、同時に酸化タンタル粒子および/または酸化ニオブ粒子を含浸した鉄製のワイヤーをタンディッシュ中に添加した。②の方法では溶存酸素量を調整した後、TaもしくはNbを添加して直ちに溶鋼した。

【0027】インゴットは1250℃に加熱した後、厚さ50mmに圧延し、空冷後930~1080℃で焼入れし、740~810℃で焼もどしを行い、供試鋼を作成した。供試鋼から6φ×30GLのクリープ試験片を加工し、Cr添加量が10%未満の鋼については625℃で10000hのクリープ破断強度(CRS)を、Cr添加量が10%以上の鋼については650℃で10000hのクリープ破断強度(CRS)を調査した。また、2mmVノッチシャルピー試験片を加工し、0℃の衝撃吸収エネルギー(vE0)も調査した。

【0028】

【表1】

|                  | No | C<br>wt% | Si<br>wt% | Mn<br>wt% | P<br>wt% | S<br>wt% | Cr<br>wt% | V<br>wt% | Mo<br>wt% | W<br>wt% | Mo+<br>W/2<br>wt% | N<br>wt% |
|------------------|----|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-------------------|----------|
| 本<br>発<br>明<br>鋼 | 1  | 0.09     | 0.040     | 0.03      | 0.006    | 0.007    | 9.25      | 0.21     | 1.39      | —        | 1.39              | 0.0450   |
|                  | 2  | 0.09     | 0.130     | 0.03      | 0.006    | 0.003    | 9.33      | 0.20     | 1.10      | —        | 1.10              | 0.0333   |
|                  | 3  | 0.09     | 0.132     | 0.01      | 0.006    | 0.003    | 9.05      | 0.23     | 1.09      | —        | 1.09              | 0.0152   |
|                  | 4  | 0.09     | 0.401     | 0.14      | 0.004    | 0.004    | 8.56      | 0.25     | 2.55      | —        | 2.55              | 0.0055   |
|                  | 5  | 0.09     | 0.353     | 0.46      | 0.007    | 0.004    | 9.08      | 0.22     | 0.58      | —        | 0.58              | 0.0294   |
|                  | 6  | 0.07     | 0.222     | 0.55      | 0.005    | 0.003    | 5.44      | 0.39     | —         | 0.80     | 0.40              | 0.0180   |
|                  | 7  | 0.05     | 0.040     | 0.45      | 0.005    | 0.002    | 7.88      | 0.33     | —         | 1.80     | 0.90              | 0.0450   |
|                  | 8  | 0.10     | 0.051     | 0.44      | 0.004    | 0.003    | 7.88      | 0.18     | —         | 3.50     | 1.75              | 0.0216   |
|                  | 9  | 0.16     | 0.077     | 0.34      | 0.025    | 0.002    | 9.05      | 0.33     | 0.02      | 4.55     | 2.30              | 0.0605   |
|                  | 10 | 0.25     | 0.050     | 0.78      | 0.005    | 0.003    | 9.02      | 0.28     | 0.50      | 2.50     | 1.75              | 0.0488   |
|                  | 11 | 0.19     | 0.060     | 0.91      | 0.006    | 0.003    | 9.23      | 0.16     | 0.60      | 1.80     | 1.50              | 0.0410   |
|                  | 12 | 0.22     | 0.039     | 0.88      | 0.006    | 0.009    | 8.56      | 0.33     | 1.11      | 0.41     | 1.32              | 0.0450   |
|                  | 13 | 0.15     | 0.131     | 0.54      | 0.007    | 0.002    | 8.55      | 0.23     | 2.12      | 0.72     | 2.48              | 0.0449   |
|                  | 14 | 0.07     | 0.065     | 0.08      | 0.007    | 0.002    | 6.08      | 0.46     | 1.15      | 0.50     | 1.40              | 0.0265   |
|                  | 15 | 0.09     | 0.007     | 0.22      | 0.005    | 0.022    | 5.98      | 0.17     | 1.01      | 0.25     | 1.13              | 0.0126   |
|                  | 16 | 0.07     | 0.086     | 0.24      | 0.045    | 0.002    | 9.77      | 0.05     | 1.01      | 1.05     | 1.53              | 0.0501   |
|                  | 17 | 0.09     | 0.033     | 0.33      | 0.005    | 0.005    | 9.88      | 0.15     | 0.50      | 1.01     | 1.46              | 0.0555   |
| 比<br>較<br>鋼      | 18 | 0.03     | 0.422     | 0.15      | 0.005    | 0.003    | 9.25      | 0.23     | 1.21      | —        | 1.21              | 0.0415   |
|                  | 19 | 0.35     | 0.334     | 0.14      | 0.014    | 0.004    | 9.25      | 0.35     | 1.01      | —        | 1.01              | 0.0314   |
|                  | 20 | 0.07     | 1.222     | 0.16      | 0.005    | 0.004    | 9.22      | 0.22     | 0.98      | —        | 0.98              | 0.0419   |
|                  | 21 | 0.09     | 0.378     | 1.39      | 0.005    | 0.003    | 8.25      | 0.29     | 0.99      | —        | 0.99              | 0.0414   |
|                  | 22 | 0.15     | 0.421     | 0.51      | 0.059    | 0.002    | 8.23      | 0.23     | —         | 2.23     | 1.12              | 0.0516   |
|                  | 23 | 0.11     | 0.439     | 0.45      | 0.004    | 0.003    | 3.01      | 0.28     | —         | 2.01     | 1.01              | 0.0113   |
|                  | 24 | 0.15     | 0.493     | 0.43      | 0.005    | 0.042    | 7.88      | 0.23     | —         | 2.01     | 1.01              | 0.0325   |
|                  | 25 | 0.22     | 0.130     | 0.67      | 0.005    | 0.003    | 8.23      | 0.03     | 1.04      | —        | 1.04              | 0.0441   |
|                  | 26 | 0.18     | 0.060     | 0.33      | 0.006    | 0.003    | 8.05      | 0.60     | 2.00      | —        | 2.00              | 0.0251   |
|                  | 27 | 0.23     | 0.441     | 0.18      | 0.004    | 0.004    | 9.25      | 0.23     | 0.12      | —        | 0.12              | 0.0500   |
|                  | 28 | 0.14     | 0.390     | 0.52      | 0.007    | 0.004    | 9.03      | 0.22     | 2.02      | 3.22     | 3.13              | 0.0623   |
|                  | 29 | 0.06     | 0.168     | 0.06      | 0.005    | 0.003    | 9.01      | 0.25     | 1.01      | 0.21     | 1.11              | 0.0031   |
|                  | 30 | 0.17     | 0.184     | 0.64      | 0.004    | 0.003    | 9.03      | 0.25     | 0.58      | 1.85     | 1.51              | 0.0222   |
|                  | 31 | 0.10     | 0.353     | 0.53      | 0.005    | 0.002    | 9.11      | 0.25     | 1.05      | 0.04     | 1.07              | 0.0561   |
|                  | 32 | 0.12     | 0.034     | 0.64      | 0.005    | 0.003    | 9.44      | 0.23     | 1.00      | 0.72     | 1.36              | 0.0551   |
|                  | 33 | 0.07     | 0.064     | 0.48      | 0.006    | 0.003    | 9.51      | 0.46     | 0.97      | 0.21     | 1.08              | 0.0541   |
|                  | 34 | 0.08     | 0.110     | 0.22      | 0.006    | 0.002    | 9.91      | 0.27     | 0.97      | 0.25     | 1.10              | 0.0515   |
|                  | 35 | 0.07     | 0.450     | 0.24      | 0.007    | 0.002    | 9.22      | 0.25     | 0.89      | 1.05     | 1.41              | 0.0510   |
|                  | 36 | 0.08     | 0.222     | 0.23      | 0.007    | 0.002    | 9.59      | 0.25     | 0.52      | 1.89     | 1.47              | 0.0414   |
|                  | 37 | 0.07     | 0.219     | 0.24      | 0.005    | 0.002    | 9.22      | 0.24     | 0.56      | 1.90     | 1.51              | 0.0515   |
|                  | 38 | 0.08     | 0.225     | 0.21      | 0.005    | 0.002    | 9.32      | 0.25     | 0.51      | 0.95     | 0.99              | 0.0511   |
|                  | 39 | 0.07     | 0.254     | 0.24      | 0.005    | 0.005    | 9.32      | 0.25     | 0.51      | 0.18     | 0.60              | 0.0421   |
|                  | 40 | 0.07     | 0.223     | 0.24      | 0.004    | 0.003    | 9.02      | 0.24     | 0.50      | 0.14     | 0.57              | 0.0188   |

【0029】

\* \* 【表2】

(表1のつづき-1)

|                  | Na | Ni<br>wt% | Cu<br>wt% | Co<br>wt% | Ni+<br>Cu+<br>Co<br>wt% | 酸化<br>タング<br>sten<br>wt% | 酸化<br>ニオブ<br>wt% | 酸化タ<br>ンタル+<br>酸化ニ<br>オブ<br>wt% | 酸化<br>物<br>粒径<br>μm | (酸化タ<br>ンタル+<br>酸化ニ<br>オブ) /<br>Si |
|------------------|----|-----------|-----------|-----------|-------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 本<br>発<br>明<br>鋼 | 1  | 0.15      | —         | —         | 0.15                    | 0.11                     | —                | 0.11                            | 0.02                | 2.75                               |
|                  | 2  | 0.15      | —         | —         | 0.15                    | 0.11                     | 0.10             | 0.21                            | 0.02                | 1.62                               |
|                  | 3  | 0.09      | —         | —         | 0.09                    | 0.26                     | —                | 0.26                            | 0.02                | 1.97                               |
|                  | 4  | 1.20      | —         | —         | 1.20                    | 0.94                     | —                | 0.94                            | 0.07                | 2.34                               |
|                  | 5  | —         | 0.36      | —         | 0.36                    | 1.89                     | —                | 1.89                            | 0.04                | 5.35                               |
|                  | 6  | —         | 0.56      | —         | 0.56                    | 0.43                     | —                | 0.43                            | 0.07                | 1.94                               |
|                  | 7  | 0.01      | 0.24      | 0.45      | 0.70                    | 0.43                     | 0.23             | 0.66                            | 0.20                | 13.20                              |
|                  | 8  | 0.10      | 0.05      | 0.44      | 0.59                    | 0.01                     | 0.64             | 0.65                            | 0.20                | 12.75                              |
|                  | 9  | —         | —         | 0.34      | 0.34                    | 0.01                     | 0.67             | 0.68                            | 0.20                | 8.70                               |
|                  | 10 | —         | —         | 0.78      | 0.78                    | —                        | 0.81             | 0.81                            | 0.20                | 16.20                              |
|                  | 11 | 0.19      | —         | 1.23      | 1.42                    | 2.02                     | 0.39             | 2.41                            | 0.07                | 40.17                              |
|                  | 12 | 0.22      | —         | 1.88      | 2.10                    | 0.41                     | 0.39             | 0.80                            | 0.07                | 20.51                              |
|                  | 13 | 0.15      | 0.33      | 0.54      | 1.02                    | 0.72                     | 0.11             | 0.83                            | 0.07                | 6.34                               |
|                  | 14 | —         | 0.06      | 2.58      | 2.64                    | 0.21                     | 1.01             | 1.22                            | 0.07                | 18.77                              |
|                  | 15 | —         | 0.12      | 0.22      | 0.34                    | 0.25                     | 1.00             | 1.25                            | 0.21                | 178.57                             |
|                  | 16 | 0.07      | 0.28      | 0.24      | 0.59                    | 1.05                     | 0.17             | 1.22                            | 0.95                | 14.19                              |
|                  | 17 | 0.09      | 0.53      | 0.33      | 0.95                    | 1.04                     | 0.17             | 1.21                            | 0.23                | 36.67                              |
| 比<br>較<br>鋼      | 18 | 0.03      | —         | —         | 0.03                    | 0.75                     | —                | 0.75                            | 0.23                | 1.78                               |
|                  | 19 | 0.35      | —         | —         | 0.35                    | 0.74                     | —                | 0.74                            | 0.22                | 2.22                               |
|                  | 20 | 0.07      | —         | —         | 0.07                    | 0.79                     | 1.10             | 1.89                            | 0.22                | 1.55                               |
|                  | 21 | 0.09      | —         | —         | 0.09                    | 0.70                     | —                | 0.70                            | 0.22                | 1.85                               |
|                  | 22 | —         | 0.42      | 0.01      | 0.43                    | 0.23                     | 0.43             | 0.66                            | 0.21                | 1.57                               |
|                  | 23 | —         | 0.53      | 1.01      | 1.54                    | 0.11                     | 0.62             | 0.73                            | 0.20                | 1.66                               |
|                  | 24 | —         | 0.79      | 0.43      | 1.22                    | 0.01                     | 0.74             | 0.75                            | 0.20                | 1.52                               |
|                  | 25 | —         | 0.13      | 0.67      | 0.80                    | —                        | 0.61             | 0.61                            | 0.23                | 4.92                               |
|                  | 26 | 0.18      | —         | 1.33      | 1.51                    | —                        | 0.70             | 0.70                            | 0.27                | 11.67                              |
|                  | 27 | 0.23      | —         | 1.18      | 1.41                    | —                        | 0.69             | 0.69                            | 0.07                | 1.56                               |
|                  | 28 | 0.14      | —         | 0.52      | 0.66                    | 0.22                     | 0.41             | 0.63                            | 0.07                | 1.62                               |
|                  | 29 | 0.06      | —         | 0.06      | 0.12                    | 0.21                     | 0.90             | 1.11                            | 0.07                | 6.67                               |
|                  | 30 | —         | —         | —         | —                       | 1.05                     | 0.07             | 1.12                            | 0.55                | 6.09                               |
|                  | 31 | 1.10      | 2.35      | 1.53      | 4.98                    | 0.54                     | 0.17             | 0.71                            | 0.55                | 2.01                               |
|                  | 32 | 0.12      | 0.33      | 0.64      | 1.09                    | 0.18                     | 0.01             | 0.05                            | 0.54                | 5.59                               |
|                  | 33 | 0.07      | 0.06      | 0.48      | 0.61                    | 1.21                     | 1.51             | 2.72                            | 0.56                | 42.50                              |
|                  | 34 | 0.08      | 0.11      | 0.22      | 0.41                    | 0.25                     | 0.90             | 1.15                            | 1.95                | 10.46                              |
|                  | 35 | 0.07      | 0.20      | —         | 0.27                    | 0.55                     | 0.05             | 0.60                            | 0.22                | 1.33                               |
|                  | 36 | 0.08      | 0.22      | —         | 0.30                    | 0.89                     | 0.05             | 0.94                            | 0.21                | 4.23                               |
|                  | 37 | 0.07      | 0.21      | —         | 0.28                    | 0.91                     | 0.04             | 0.95                            | 0.22                | 4.34                               |
|                  | 38 | 0.08      | 0.22      | —         | 0.30                    | 0.95                     | 0.06             | 1.01                            | 0.21                | 4.49                               |
|                  | 39 | 0.07      | 0.25      | 0.24      | 0.56                    | 0.18                     | 0.25             | 0.43                            | 0.59                | 1.69                               |
|                  | 40 | 0.07      | 0.22      | 0.24      | 0.53                    | 0.14                     | 0.25             | 0.39                            | 0.85                | 1.75                               |



(表1のつづき-2)

|                  | No. | 全Ta<br>wt% | 全Nb<br>wt% | 全Ta +<br>全Nb<br>wt% | 選 択 元 素<br>WT%                         | 625<br>℃<br>CRS<br>MPa | vB0<br>J |
|------------------|-----|------------|------------|---------------------|--|------------------------|----------|
| 本<br>発<br>明<br>鋼 | 1   | 0.07       | —          | 0.07                |  | 124                    | 251      |
|                  | 2   | 0.07       | 0.10       | 0.17                |  | 125                    | 230      |
|                  | 3   | 0.28       | —          | 0.28                |  | 125                    | 258      |
|                  | 4   | 0.76       | —          | 0.76                |  | 149                    | 244      |
|                  | 5   | 1.75       | —          | 1.75                |  | 174                    | 233      |
|                  | 6   | 0.39       | —          | 0.39                | B:0.0032, Ti:0.009                     | 169                    | 236      |
|                  | 7   | 0.35       | 0.21       | 0.56                | B:0.0091, Al:0.005                     | 145                    | 218      |
|                  | 8   | 0.01       | 0.58       | 0.59                | B:0.0011, Al:0.006, Mg:0.002, Ca:0.003 | 135                    | 298      |
|                  | 9   | 0.01       | 0.50       | 0.51                |  | 122                    | 199      |
|                  | 10  | —          | 0.66       | 0.66                |  | 128                    | 216      |
|                  | 11  | 1.85       | 0.32       | 2.17                |  | 179                    | 258      |
|                  | 12  | 0.34       | 0.37       | 0.71                | B:0.0025, Y:0.010, Zr:0.003            | 144                    | 250      |
|                  | 13  | 0.74       | 0.07       | 0.81                | B:0.0033, La:0.022, Zr:0.006           | 141                    | 264      |
|                  | 14  | 0.18       | 1.00       | 1.18                | B:0.0029, Hf:0.006, Ca:0.011           | 154                    | 281      |
|                  | 15  | 0.45       | 0.79       | 1.24                | B:0.0010, Al:0.008, Mg:0.009, Ce:0.002 | 154                    | 211      |
|                  | 16  | 0.89       | 0.20       | 1.09                | B:0.0008, Al:0.015, Ca:0.006           | 126                    | 231      |
|                  | 17  | 0.88       | 0.15       | 1.03                | B:0.0024, Ti:0.010, Mg:0.010, Zr:0.006 | 140                    | 240      |
| 比<br>較<br>鋼      | 18  | 0.69       | —          | 0.69                |  | 91                     | 264      |
|                  | 19  | 0.71       | —          | 0.71                |  | 128                    | 66       |
|                  | 20  | 0.69       | 0.91       | 1.60                |  | 165                    | 12       |
|                  | 21  | 0.60       | —          | 0.60                | B:0.0022, Ti:0.012                     | 98                     | 85       |
|                  | 22  | 0.19       | 0.44       | 0.63                |  | 120                    | 8        |
|                  | 23  | 0.09       | 0.48       | 0.57                |  | 105                    | 216      |
|                  | 24  | 0.01       | 0.64       | 0.65                |  | 108                    | 11       |
|                  | 25  | —          | 0.58       | 0.58                |  | 89                     | 240      |
|                  | 26  | —          | 0.70       | 0.70                |  | 99                     | 20       |
|                  | 27  | —          | 0.65       | 0.65                |  | 81                     | 259      |
|                  | 28  | 0.18       | 0.35       | 0.53                |  | 162                    | 16       |
|                  | 29  | 0.18       | 0.76       | 0.94                |  | 83                     | 197      |
|                  | 30  | 0.85       | 0.13       | 0.98                | B:0.0013, Mg:0.006, Y:0.005            | 117                    | 35       |
|                  | 31  | 0.44       | 0.10       | 0.54                | B:0.0030, Zr:0.006                     | 86                     | 297      |
|                  | 32  | 0.19       | 0.06       | 0.25                | B:0.0029, Hf:0.005, Ca:0.013           | 78                     | 253      |
|                  | 33  | 0.99       | 1.43       | 2.24                | B:0.0025, Al:0.011, Mg:0.007           | 171                    | 21       |
|                  | 34  | 0.20       | 0.88       | 1.08                | B:0.0033, Al:0.015, Ca:0.011           | 90                     | 10       |
|                  | 35  | 0.45       | 0.08       | 0.53                | B:0.0009, Ti:0.01, Mg:0.006, Zr:0.008  | 93                     | 57       |
|                  | 36  | 2.75       | 0.64       | 3.39                | B:0.0098, Ti:0.01, Mg:0.006, Zr:0.008  | 132                    | 11       |
|                  | 37  | 0.91       | 0.02       | 0.93                | B:0.0046, Mg:0.006, Zr:0.008, La:0.061 | 97                     | 85       |
|                  | 38  | 0.88       | 0.05       | 0.93                | B:0.0166, Mg:0.006, Zr:0.008           | 125                    | 19       |
|                  | 39  | 0.15       | 0.20       | 0.35                | B:0.0035, Ti:0.26, Zr:0.008            | 94                     | 80       |
|                  | 40  | 0.14       | 0.24       | 0.38                | B:0.0029, Al:0.058, Zr:0.051           | 94                     | 177      |

| 15               |     |      |       |      |       |       |      |      |      |      |        | 16     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                  | No. | C    | Si    | Mn   | P     | S     | Cr   | V    | Mo   | W    | Mo+W/2 | N      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |     | wt%  | wt%   | wt%  | wt%   | wt%   | wt%  | wt%  | wt%  | wt%  | wt%    |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 本<br>発<br>明<br>鋼 | 41  | 0.15 | 0.035 | 0.02 | 0.005 | 0.003 | 12.2 | 0.21 | 1.05 | —    | 1.05   | 0.0501 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 42  | 0.15 | 0.060 | 0.01 | 0.005 | 0.003 | 12.3 | 0.20 | 1.10 | —    | 1.10   | 0.0512 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 43  | 0.15 | 0.055 | 0.01 | 0.005 | 0.003 | 12.1 | 0.20 | 1.10 | —    | 1.10   | 0.0493 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 44  | 0.13 | 0.221 | 0.14 | 0.004 | 0.002 | 12.5 | 0.21 | 2.49 | —    | 2.49   | 0.0255 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 45  | 0.14 | 0.053 | 0.46 | 0.003 | 0.002 | 12.3 | 0.22 | 0.60 | —    | 0.60   | 0.0492 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 46  | 0.15 | 0.051 | 0.35 | 0.005 | 0.002 | 12.1 | 0.30 | —    | 0.83 | 0.42   | 0.0481 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 47  | 0.05 | 0.040 | 0.35 | 0.005 | 0.002 | 11.1 | 0.33 | —    | 1.75 | 0.88   | 0.0650 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 48  | 0.14 | 0.051 | 0.33 | 0.004 | 0.003 | 10.3 | 0.28 | —    | 3.00 | 1.50   | 0.0414 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 49  | 0.16 | 0.067 | 0.43 | 0.005 | 0.002 | 12.4 | 0.23 | 0.02 | 4.04 | 2.04   | 0.0606 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 50  | 0.28 | 0.056 | 0.38 | 0.004 | 0.003 | 13.0 | 0.28 | 0.50 | 2.50 | 1.75   | 0.0788 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 51  | 0.19 | 0.060 | 0.31 | 0.004 | 0.003 | 12.9 | 0.26 | 0.60 | 1.80 | 1.50   | 0.0406 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 52  | 0.22 | 0.059 | 0.30 | 0.006 | 0.002 | 13.4 | 0.23 | 1.30 | 0.44 | 1.52   | 0.0416 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 53  | 0.20 | 0.131 | 0.34 | 0.037 | 0.002 | 12.2 | 0.20 | 2.12 | 0.72 | 2.48   | 0.0455 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 54  | 0.17 | 0.065 | 0.08 | 0.007 | 0.002 | 12.0 | 0.38 | 1.85 | 0.50 | 2.10   | 0.0666 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 55  | 0.19 | 0.007 | 0.22 | 0.008 | 0.002 | 11.9 | 0.17 | 1.28 | 0.24 | 1.40   | 0.0623 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 56  | 0.07 | 0.056 | 0.24 | 0.005 | 0.022 | 10.8 | 0.05 | 1.22 | 1.06 | 1.75   | 0.0438 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 57  | 0.09 | 0.053 | 0.33 | 0.005 | 0.005 | 10.9 | 0.25 | 0.50 | 1.90 | 1.45   | 0.0554 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 比<br>較<br>鋼      | 58  | 0.03 | 0.231 | 0.15 | 0.004 | 0.002 | 12.5 | 0.21 | 1.23 | —    | 1.23   | 0.0405 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 59  | 0.32 | 0.205 | 0.14 | 0.005 | 0.003 | 12.5 | 0.25 | 1.02 | —    | 1.02   | 0.0304 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 60  | 0.13 | 0.581 | 0.16 | 0.005 | 0.004 | 12.9 | 0.20 | 0.99 | —    | 0.99   | 0.0410 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 61  | 0.15 | 0.278 | 1.09 | 0.005 | 0.004 | 12.8 | 0.25 | 1.00 | —    | 1.00   | 0.0413 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 62  | 0.15 | 0.221 | 0.11 | 0.066 | 0.002 | 11.3 | 0.24 | 2.20 | —    | 2.20   | 0.0526 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 63  | 0.15 | 0.053 | 0.34 | 0.006 | 0.002 | 14.5 | 0.23 | 2.19 | —    | 2.19   | 0.0452 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 64  | 0.23 | 0.030 | 0.36 | 0.004 | 0.002 | 12.3 | 0.03 | 1.03 | —    | 1.03   | 0.0414 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 65  | 0.28 | 0.060 | 0.33 | 0.008 | 0.002 | 10.8 | 0.58 | 1.95 | —    | 1.95   | 0.0415 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 66  | 0.23 | 0.041 | 0.38 | 0.006 | 0.003 | 10.9 | 0.27 | 0.41 | —    | 0.41   | 0.0405 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 67  | 0.24 | 0.090 | 0.35 | 0.006 | 0.004 | 11.9 | 0.22 | 2.53 | 1.42 | 3.24   | 0.0621 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 68  | 0.12 | 0.068 | 0.36 | 0.005 | 0.002 | 11.1 | 0.25 | 1.00 | 0.21 | 1.11   | 0.0040 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 69  | 0.15 | 0.033 | 0.32 | 0.005 | 0.002 | 11.5 | 0.27 | 0.55 | 0.26 | 0.68   | 0.0833 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 70  | 0.17 | 0.084 | 0.34 | 0.005 | 0.003 | 10.3 | 0.25 | 0.56 | 1.85 | 1.49   | 0.0422 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 71  | 0.18 | 0.053 | 0.35 | 0.005 | 0.002 | 10.1 | 0.25 | 0.52 | 0.14 | 0.59   | 0.0456 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 72  | 0.16 | 0.045 | 0.36 | 0.005 | 0.004 | 10.4 | 0.23 | 0.59 | 0.75 | 0.96   | 0.0555 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 73  | 0.16 | 0.046 | 0.34 | 0.006 | 0.003 | 11.1 | 0.22 | 0.96 | 0.23 | 1.07   | 0.0641 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 74  | 0.16 | 0.048 | 0.32 | 0.006 | 0.004 | 11.9 | 0.27 | 0.96 | 0.22 | 1.07   | 0.0651 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 75  | 0.17 | 0.240 | 0.34 | 0.007 | 0.002 | 11.3 | 0.25 | 0.87 | 1.06 | 1.40   | 0.0610 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 76  | 0.14 | 0.050 | 0.32 | 0.004 | 0.002 | 11.5 | 0.25 | 0.53 | 1.80 | 1.43   | 0.0641 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 77  | 0.14 | 0.220 | 0.32 | 0.005 | 0.002 | 12.5 | 0.24 | 0.51 | 1.90 | 1.46   | 0.0551 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 78  | 0.13 | 0.226 | 0.31 | 0.005 | 0.002 | 11.3 | 0.23 | 0.51 | 0.95 | 0.99   | 0.0551 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 79  | 0.13 | 0.214 | 0.36 | 0.005 | 0.005 | 10.9 | 0.25 | 0.51 | 0.18 | 0.60   | 0.0542 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 80  | 0.14 | 0.223 | 0.24 | 0.004 | 0.003 | 10.1 | 0.24 | 0.51 | 0.14 | 0.58   | 0.0488 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

【0032】

\* \* 【表5】

(表4のつづき-1)

|                  | No. | Ni<br>wt% | Cu<br>wt% | Co<br>wt% | Ni+<br>Cu+<br>Co<br>wt% | 酸化<br>タンタル<br>wt% | 酸化<br>ニオブ<br>wt% | 酸化タン<br>タル+酸<br>化ニオブ<br>wt% | 酸化<br>物<br>粒径<br>μm | (酸化タンタル+<br>酸化ニオブ) /<br>Si |
|------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|
| 本<br>発<br>明<br>鋼 | 41  | 1.31      | —         | —         | 1.31                    | 0.10              | —                | 0.10                        | 0.03                | 2.86                       |
|                  | 42  | 1.30      | —         | —         | 1.30                    | 0.24              | —                | 0.24                        | 0.02                | 3.69                       |
|                  | 43  | 1.08      | —         | —         | 1.08                    | 0.35              | —                | 0.35                        | 0.07                | 6.36                       |
|                  | 44  | 1.44      | —         | —         | 1.44                    | 0.90              | —                | 0.90                        | 0.07                | 4.07                       |
|                  | 45  | 0.85      | 0.85      | —         | 1.70                    | 1.85              | —                | 1.85                        | 0.07                | 34.91                      |
|                  | 46  | 0.46      | 0.56      | —         | 1.02                    | 0.43              | —                | 0.43                        | 0.03                | 8.43                       |
|                  | 47  | 0.30      | 0.20      | 1.40      | 1.90                    | 0.43              | 0.23             | 0.66                        | 0.20                | 16.50                      |
|                  | 48  | 0.10      | 0.05      | 1.35      | 1.50                    | 0.01              | 0.54             | 0.55                        | 0.20                | 10.78                      |
|                  | 49  | —         | —         | 2.85      | 2.85                    | 0.01              | 0.97             | 0.98                        | 0.20                | 14.62                      |
|                  | 50  | —         | —         | 2.78      | 2.78                    | —                 | 0.91             | 0.91                        | 0.20                | 16.25                      |
|                  | 51  | 0.17      | —         | 3.23      | 3.40                    | 1.52              | 0.40             | 1.92                        | 0.07                | 32.00                      |
|                  | 52  | 0.22      | —         | 1.88      | 2.10                    | 0.41              | 0.39             | 0.80                        | 0.07                | 13.56                      |
|                  | 53  | 0.45      | 0.43      | 0.50      | 1.38                    | 0.72              | 0.11             | 0.83                        | 0.07                | 6.34                       |
|                  | 54  | —         | 0.06      | 2.00      | 2.06                    | 0.21              | 1.01             | 1.22                        | 0.07                | 18.77                      |
|                  | 55  | —         | 0.12      | 1.52      | 1.64                    | 0.25              | 1.00             | 1.25                        | 0.20                | 178.57                     |
|                  | 56  | 0.07      | 0.18      | 1.50      | 1.75                    | 1.05              | 0.17             | 1.22                        | 0.95                | 21.79                      |
|                  | 57  | 0.09      | 0.18      | 1.50      | 1.77                    | 1.04              | 0.17             | 0.21                        | 0.25                | 22.83                      |
| 比<br>較<br>鋼      | 58  | 1.20      | —         | —         | 1.20                    | 0.75              | —                | 0.75                        | 0.23                | 3.25                       |
|                  | 59  | 1.53      | —         | —         | 1.53                    | 0.74              | —                | 0.74                        | 0.22                | 3.61                       |
|                  | 60  | 1.07      | —         | —         | 1.07                    | 0.79              | 1.10             | 1.89                        | 0.22                | 3.25                       |
|                  | 61  | 2.08      | —         | —         | 2.08                    | 0.70              | —                | 0.70                        | 0.22                | 2.52                       |
|                  | 62  | 0.52      | 0.52      | 0.01      | 1.05                    | 0.23              | 0.43             | 0.66                        | 0.21                | 2.99                       |
|                  | 63  | 0.80      | 0.79      | 0.43      | 2.02                    | 0.01              | 0.74             | 0.75                        | 0.20                | 8.06                       |
|                  | 64  | 0.25      | 0.25      | 0.67      | 1.17                    | —                 | 0.61             | 0.61                        | 0.23                | 20.33                      |
|                  | 65  | 0.18      | —         | 2.33      | 2.51                    | —                 | 0.70             | 0.70                        | 0.27                | 11.67                      |
|                  | 66  | 0.23      | —         | 2.18      | 2.41                    | —                 | 0.69             | 0.69                        | 0.07                | 16.83                      |
|                  | 67  | 0.14      | —         | 2.52      | 2.66                    | 0.22              | 0.41             | 0.63                        | 0.07                | 7.00                       |
|                  | 68  | 0.06      | —         | 2.06      | 2.12                    | 0.21              | 0.90             | 1.11                        | 0.07                | 16.32                      |
|                  | 69  | 0.15      | 0.21      | 2.23      | 2.59                    | 0.25              | 0.90             | 1.15                        | 0.07                | 34.85                      |
|                  | 70  | —         | —         | —         | —                       | 1.05              | 0.07             | 1.12                        | 0.55                | 13.33                      |
|                  | 71  | 1.10      | 2.50      | 1.53      | 5.13                    | 0.54              | 0.17             | 0.71                        | 0.50                | 13.40                      |
|                  | 72  | 0.12      | 0.33      | 2.64      | 3.09                    | 0.21              | 0.01             | 0.04                        | 0.50                | 4.89                       |
|                  | 73  | 0.07      | 0.06      | 2.48      | 2.61                    | 1.71              | 1.10             | 2.81                        | 0.51                | 61.09                      |
|                  | 74  | 0.08      | 0.11      | 2.22      | 2.41                    | 0.25              | 0.90             | 1.15                        | 3.05                | 23.96                      |
|                  | 75  | 1.07      | 0.20      | —         | 1.27                    | 0.35              | 0.05             | 0.40                        | 0.22                | 1.18                       |
|                  | 76  | 1.08      | 0.22      | —         | 1.30                    | 0.89              | 0.05             | 0.94                        | 0.23                | 18.80                      |
|                  | 77  | 1.07      | 0.21      | —         | 1.28                    | 0.91              | 0.04             | 0.95                        | 0.22                | 4.32                       |
|                  | 78  | 1.08      | 0.22      | —         | 1.30                    | 0.95              | 0.08             | 1.01                        | 0.21                | 4.47                       |
|                  | 79  | 1.07      | 0.25      | 0.74      | 2.06                    | 0.18              | 0.25             | 0.43                        | 0.20                | 2.01                       |
|                  | 80  | 1.07      | 0.22      | 0.74      | 2.03                    | 0.24              | 0.25             | 0.49                        | 0.87                | 2.20                       |

(表4のつづき-2)

|                  | No. | 全Ta<br>wt% | 全Nb<br>wt% | 全Ta<br>+<br>全Nb<br>wt% | 選 択 元 素<br>WT%                         | 650<br>℃<br>CRS<br>MPa | v80<br>J |
|------------------|-----|------------|------------|------------------------|--|------------------------|----------|
| 本<br>発<br>明<br>鋼 | 41  | 0.06       | —          | 0.06                   |  | 145                    | 277      |
|                  | 42  | 0.20       | —          | 0.20                   |  | 168                    | 250      |
|                  | 43  | 0.30       | —          | 0.30                   |  | 120                    | 238      |
|                  | 44  | 0.81       | —          | 0.81                   |  | 144                    | 224      |
|                  | 45  | 1.56       | —          | 1.56                   |  | 169                    | 213      |
|                  | 46  | 0.39       | —          | 0.39                   | B:0.0032, Ti:0.009                     | 164                    | 226      |
|                  | 47  | 0.35       | 0.21       | 0.56                   | B:0.0051, Al:0.005                     | 135                    | 211      |
|                  | 48  | 0.01       | 0.58       | 0.59                   | B:0.0011, Al:0.006, Mg:0.002, Ca:0.003 | 125                    | 277      |
|                  | 49  | 0.01       | 0.79       | 0.80                   |  | 112                    | 184      |
|                  | 50  | —          | 0.76       | 0.76                   |  | 118                    | 261      |
|                  | 51  | 1.45       | 0.32       | 1.77                   |  | 171                    | 238      |
|                  | 52  | 0.34       | 0.37       | 0.71                   | B:0.0025, Y:0.010, Zr:0.003            | 134                    | 225      |
|                  | 53  | 0.74       | 0.07       | 0.81                   | B:0.0033, La:0.022, Zr:0.006           | 131                    | 246      |
|                  | 54  | 0.18       | 1.00       | 1.18                   | B:0.0029, Hf:0.006, Ca:0.011           | 144                    | 218      |
|                  | 55  | 0.30       | 0.79       | 1.09                   | B:0.0010, Al:0.008, Mg:0.009, Ce:0.002 | 144                    | 211      |
|                  | 56  | 0.88       | 0.18       | 1.06                   | B:0.0008, Al:0.015, Ca:0.006           | 114                    | 216      |
|                  | 57  | 0.88       | 0.15       | 1.03                   | B:0.0024, Ti:0.010, Mg:0.010, Zr:0.006 | 133                    | 204      |
| 比<br>較<br>鋼      | 58  | 0.69       | —          | 0.69                   |  | 86                     | 246      |
|                  | 59  | 0.71       | —          | 0.71                   |  | 120                    | 36       |
|                  | 60  | 0.69       | 0.91       | 1.60                   |  | 145                    | 11       |
|                  | 61  | 0.58       | —          | 0.58                   | B:0.0022, Ti:0.012                     | 91                     | 51       |
|                  | 62  | 0.19       | 0.44       | 0.63                   |  | 115                    | 3        |
|                  | 63  | 0.01       | 0.64       | 0.65                   |  | 98                     | 20       |
|                  | 64  | —          | 0.58       | 0.58                   |  | 84                     | 211      |
|                  | 65  | —          | 0.70       | 0.70                   |  | 90                     | 14       |
|                  | 66  | —          | 0.65       | 0.65                   |  | 71                     | 213      |
|                  | 67  | 0.18       | 0.35       | 0.53                   |  | 144                    | 14       |
|                  | 68  | 0.18       | 0.76       | 0.94                   |  | 79                     | 171      |
|                  | 69  | 0.20       | 0.84       | 1.04                   | B:0.0020, Al:0.010                     | 123                    | 28       |
|                  | 70  | 0.85       | 0.13       | 0.98                   | B:0.0013, Mg:0.006, Y:0.005            | 105                    | 19       |
|                  | 71  | 0.44       | 0.10       | 0.54                   | B:0.0030, Zr:0.006                     | 79                     | 255      |
|                  | 72  | 0.20       | 0.05       | 0.25                   | B:0.0029, Hf:0.005, Ca:0.013           | 75                     | 213      |
|                  | 73  | 0.99       | 1.22       | 2.21                   | B:0.0025, Al:0.011, Mg:0.007           | 150                    | 11       |
|                  | 74  | 0.20       | 0.88       | 1.08                   | B:0.0033, Al:0.015, Ca:0.011           | 88                     | 9        |
| 鋼                | 75  | 0.45       | 0.08       | 0.53                   | B:0.0009, Ti:0.01, Mg:0.006, Zr:0.008  | 84                     | 45       |
|                  | 76  | 1.68       | 1.39       | 3.07                   | B:0.0038, Ti:0.01, Mg:0.006, Zr:0.008  | 115                    | 10       |
|                  | 77  | 0.91       | 0.02       | 0.93                   | B:0.0048, Mg:0.006, Zr:0.008, Ce:0.061 | 87                     | 69       |
|                  | 78  | 0.88       | 0.05       | 0.93                   | B:0.0174, Mg:0.006, Zr:0.008           | 115                    | 13       |
|                  | 79  | 0.15       | 0.20       | 0.35                   | B:0.0035, Ti:0.07, Zr:0.008            | 88                     | 66       |
|                  | 80  | 0.14       | 0.24       | 0.38                   | B:0.0029, Al:0.058, Zr:0.051           | 83                     | 118      |

【0034】本発明鋼1～17(表1～表3)および4 30\*【0035】

1～57(表4～表6)はクリープ破断強度および靱性ともに優れている。比較鋼18～40(表1～表3)および58～80(表4～表6)は成分もしくは酸化物の粒径が本発明の範囲外であるため、クリープ破断強度および/または靱性が本発明鋼に比べ劣っている。 \*

【発明の効果】以上述べたように、本発明は高い靱性を備えた高クリープ強度鋼を提供するものである。特に625℃以上の環境中において優れた特性を示し、産業界に果たす役割は極めて大きい。

フロントページの続き

(72)発明者 間瀬 秀里

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内